Instituto de Física
Universidade Federal Fluminense

Eletromagnetismo I

Professor: Prof. Carlos Eduardo Souza - Cadu

Sala: A2-13 (IF, andar 1P)
Email: carloseduardosouza@id.uff.br

Aula 1
Apresentação do curso e Análise Vetorial

Ementa

1. Análise Vetorial
2. Eletrostática
3. Magnetostática
4. Campos variáveis no tempo

Ementa

1. Análise Vetorial
2. Eletrostática
3. Magnetostática
4. Campos variáveis no tempo

Referências

- ➢ Elementos de eletromagnetismo, Matthew Sadiku
- ➢ Física Básica (Vol 3), H. M. Nussenzveig
- ➢ Física - Uma abordagem estratégica, Random Knight

Instituto de Física
Universidade Federal Fluminense

Eletromagnetismo I

Ementa

1. Análise Vetorial
2. Eletrostática
3. Magnetostática
4. Campos variáveis no tempo

Referências

- Elementos de eletromagnetismo, Matthew Sadiku
- Física Básica (Vol 3), H. M. Nussenzveig
- Física - Uma abordagem estratégica, Random Knight

Este é um curso de eletromagnetismo aplicado, com foco na solução de problemas.

Presença > 75%
Obrigatória

Critério de avaliação

3 Provas +
Atividades aula

P1 ⇨ 24/4
P2 ⇨ 24/5
P3 ⇨ 14/6
P4 ⇨ 5/7

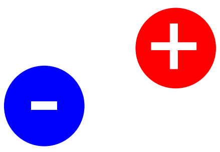
VR* ⇨ 10/7
VS ⇨ 17/7

Conforme regulamento da UFF, a VR poderá ser feita apenas pelo(a) estudante que perdeu uma das provas e sua nota substituirá a nota da prova perdida.

Em retrospectiva

1. Análise Vetorial
2. **Eletrostática**
3. Magnetostática
4. Campos variáveis no tempo

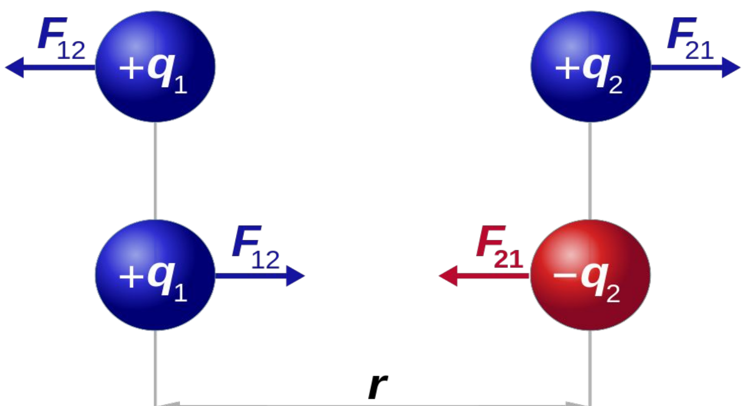
Você já estudou (Na Fis2):



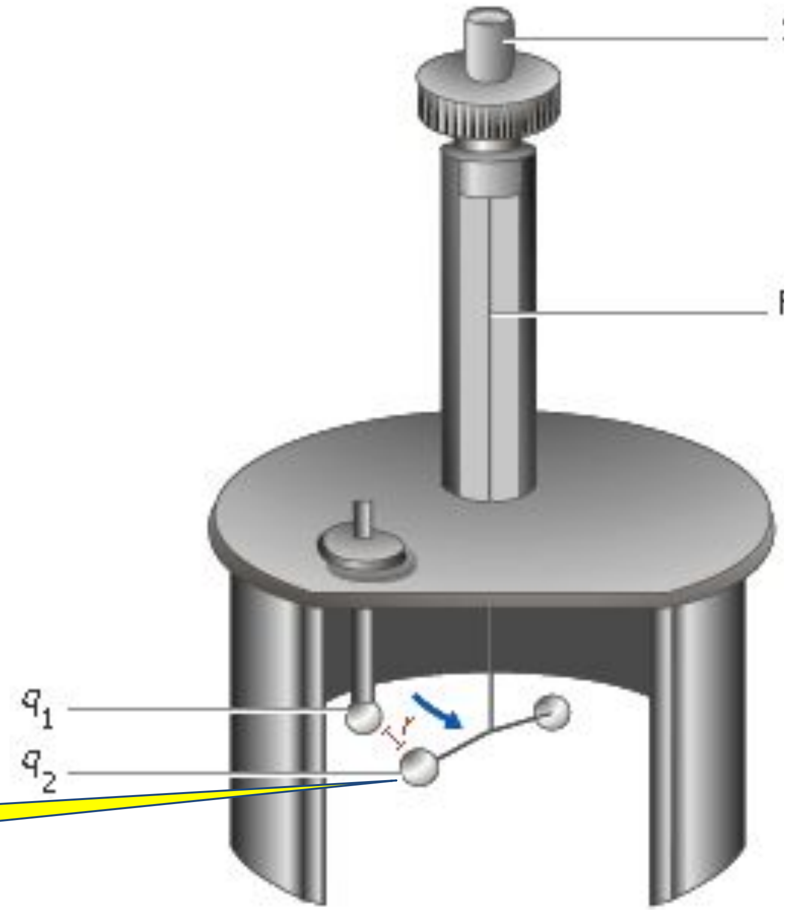
Cargas

Em retrospectiva

1. Análise Vetorial
2. **Eletrostática**
3. Magnetostática
4. Campos variáveis no tempo



$$F_{12} = F_{21} = k\,\frac{q_1 q_2}{r^2}$$

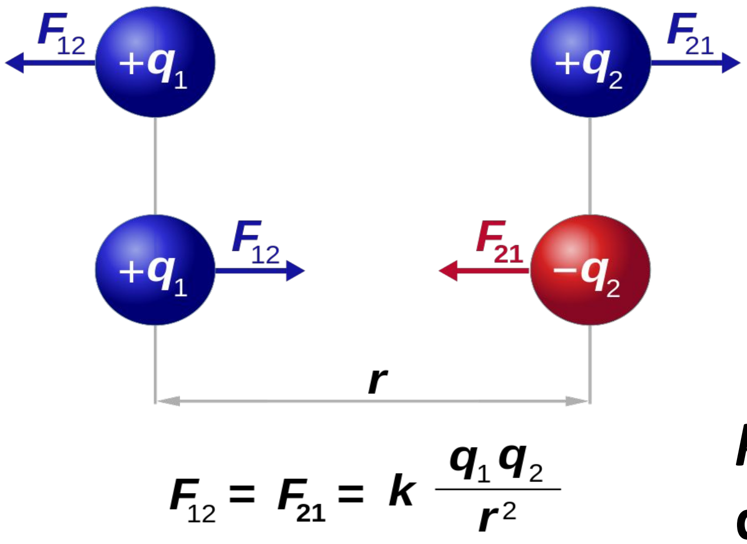


Instituto de Física
Universidade Federal Fluminense

Eletromagnetismo I

Em retrospectiva

1. Análise Vetorial
2. **Eletrostática**
3. Magnetostática
4. Campos variáveis no tempo



$\boldsymbol{k}$ **= 8,99 × 10^9 Nm^2/C^2** → cte eletrostática

q ∝ *e*, carga elementar, ***1*,60 × 10^{-19} C**.

Instituto de Física
Universidade Federal Fluminense

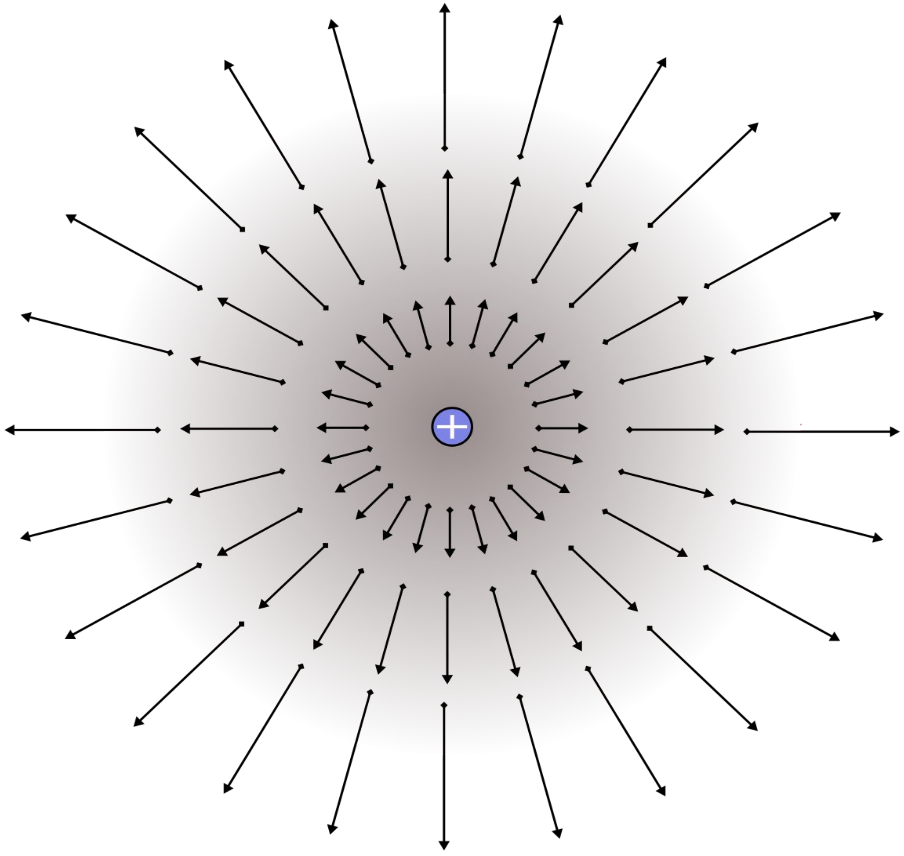
Eletromagnetismo I

Em retrospectiva

1. Análise Vetorial
2. **Eletrostática**
3. Magnetostática
4. Campos variáveis no tempo

O campo elétrico

$$\vec{E} = K\frac{q_+}{r^2}\hat{r}$$

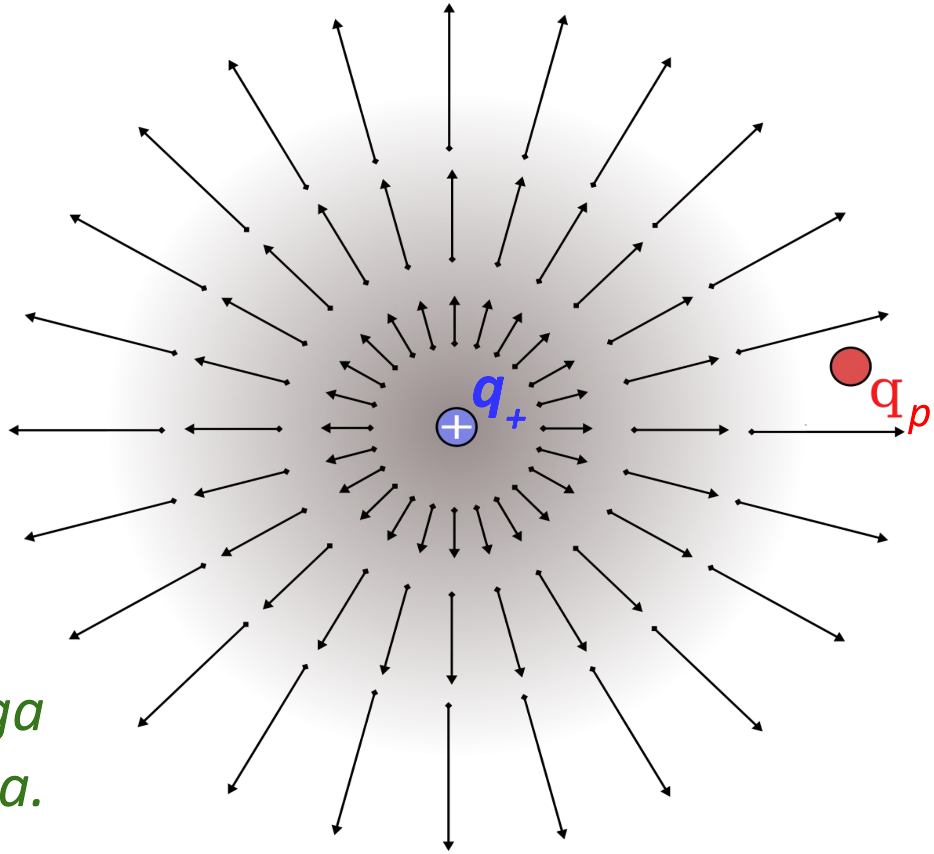


Em retrospectiva

1. Análise Vetorial
2. **Eletrostática**
3. Magnetostática
4. Campos variáveis no tempo

O campo elétrico

$$\frac{\vec{F}_1}{q_p} \equiv \vec{E} = K\frac{q_+}{r^2}\hat{r}$$

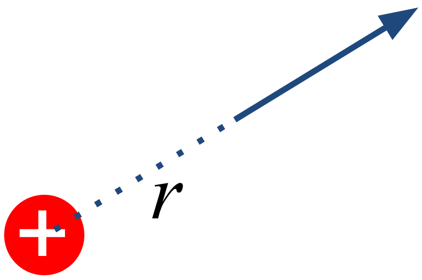


O campo elétrico criado pela carga q_+ não depende da carga de prova.

Em retrospectiva

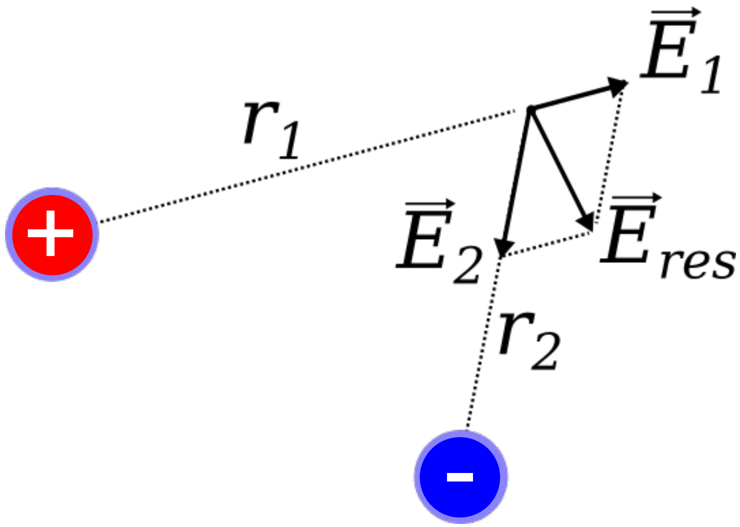
Calculando o campo elétrico…

Campo gerado por uma carga pontual



$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r^2}\hat{r}$$

Princípio da superposição

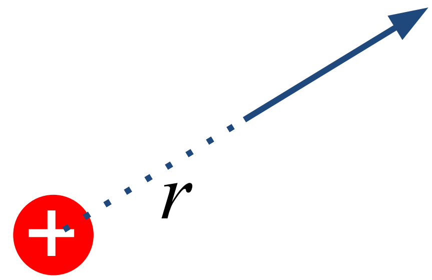


$$\vec{E}_{res} = \frac{\vec{F}_1}{q} + \frac{\vec{F}_2}{q} + \cdots$$

Em retrospectiva

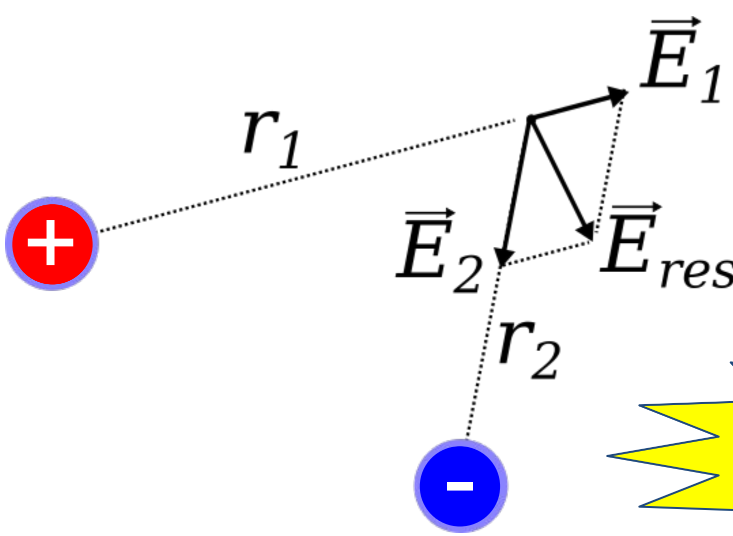
Calculando o campo elétrico…

Campo gerado por uma carga pontual



$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r^2}\hat{r}$$

Princípio da superposição



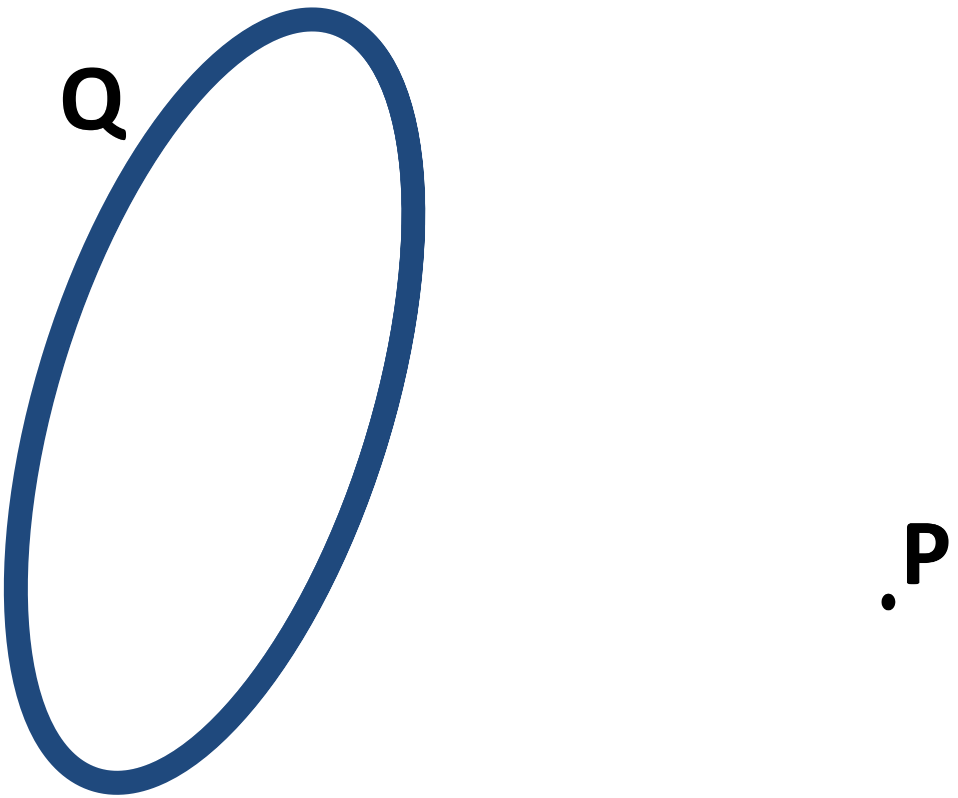
$$\vec{E}_{res} = \frac{\vec{F}_1}{q} + \frac{\vec{F}_2}{q} + \cdots$$

Análise vetorial!!

Em retrospectiva

E se tivermos um anel de cargas?

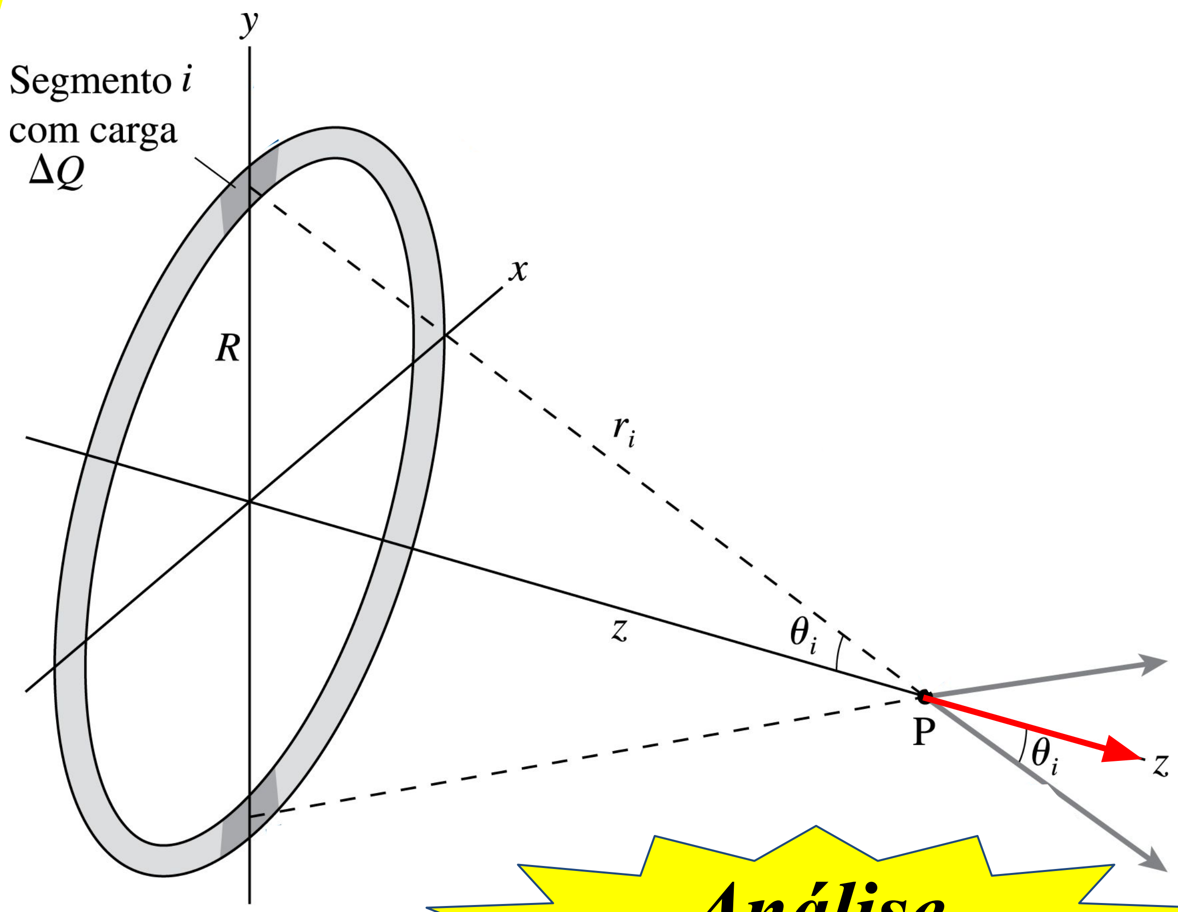
Como determinar o campo elétrico em P?



Eletromagnetismo I

Em retrospectiva

E se tivermos um anel de cargas? **Como determinar o campo elétrico em P?**



$$\vec{E} = \int_{dist} d\vec{E}$$

$$= \frac{kQz}{(R^2+z^2)^{3/2}}\,\hat{z}$$

Análise vetorial!!

Em retrospectiva

Problemas de eletricidade no contexto de energia

O potencial elétrico…

Instituto de Física
Universidade Federal Fluminense

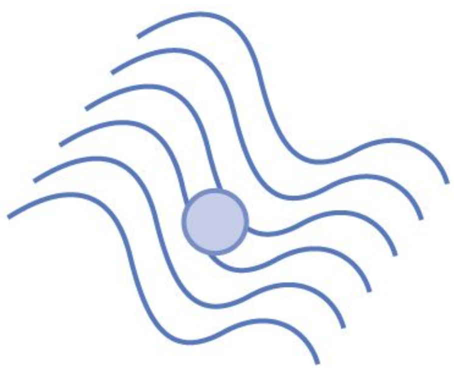
Eletromagnetismo I

Em retrospectiva

Problemas de eletricidade no contexto de energia

O potencial elétrico…

Definição: $$V \equiv \frac{U_{q+fontes}}{q}$$



Se a carga q encontra-se sob a ação do potencial, sua energia potencial elétrica é igual a $U_{\text{q+fontes}} = qV$.

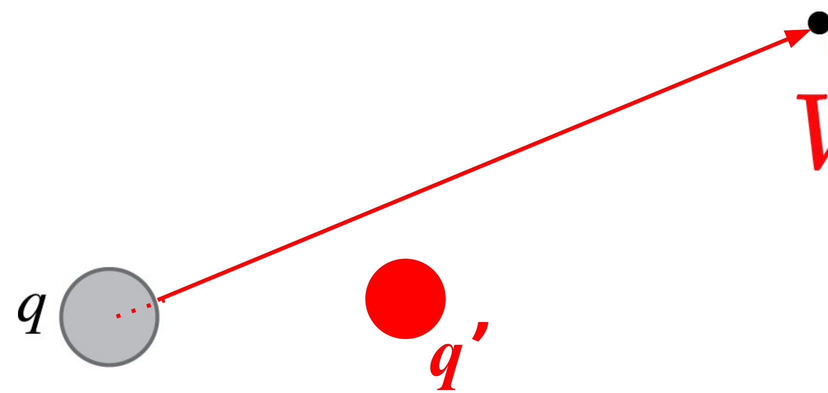
INSTITUTO DE FÍSICA
Universidade Federal Fluminense

Eletromagnetismo I

Em retrospectiva

Problemas de eletricidade no contexto de energia

O potencial elétrico…



$$V = \frac{U_{q'q}}{q'}$$

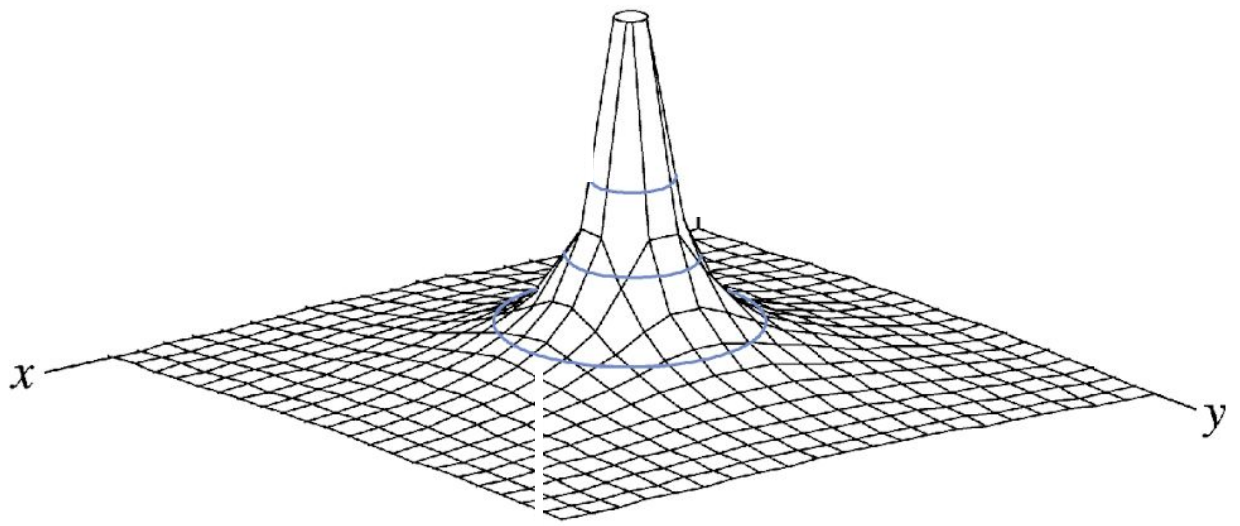


Gráfico de elevação

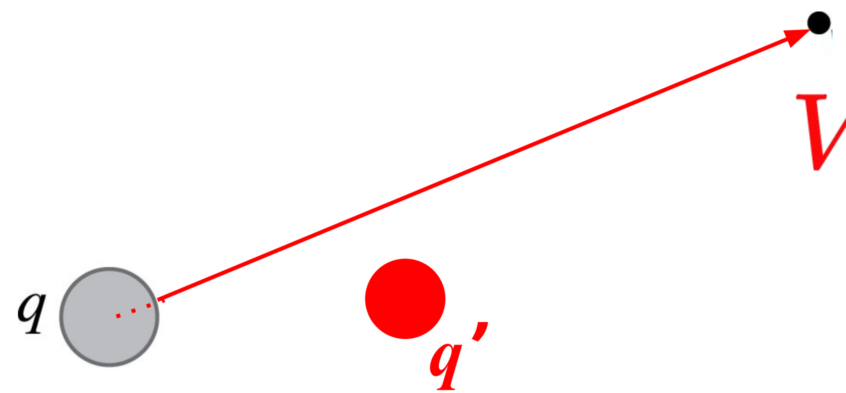
Instituto de Física
Universidade Federal Fluminense

Eletromagnetismo I

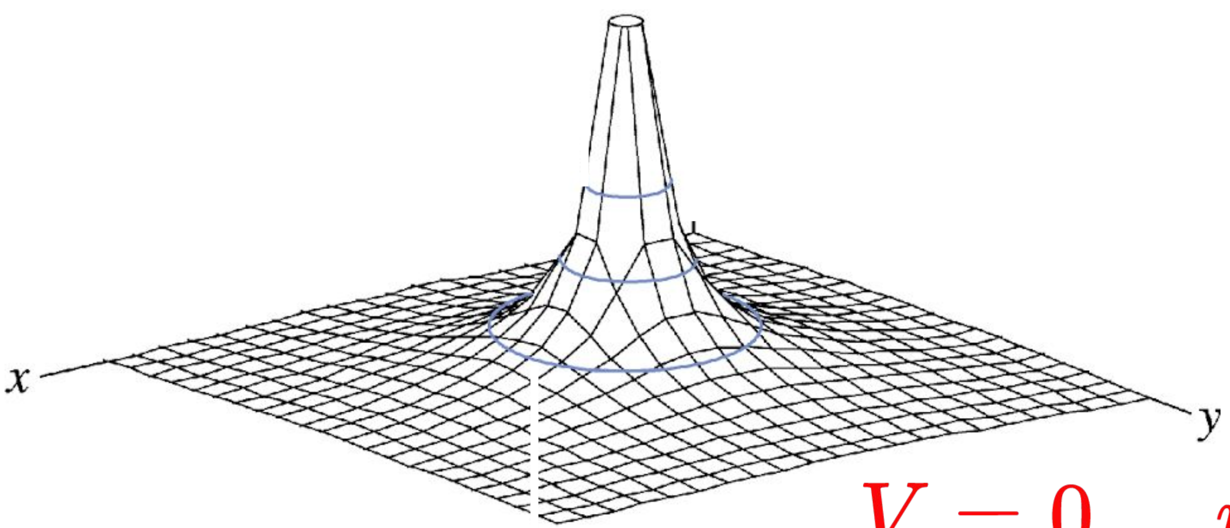
Em retrospectiva

Problemas de eletricidade no contexto de energia

O potencial elétrico…



$$V = \frac{U_{q'q}}{q'} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$$



$$V = 0 \qquad r \to \infty$$

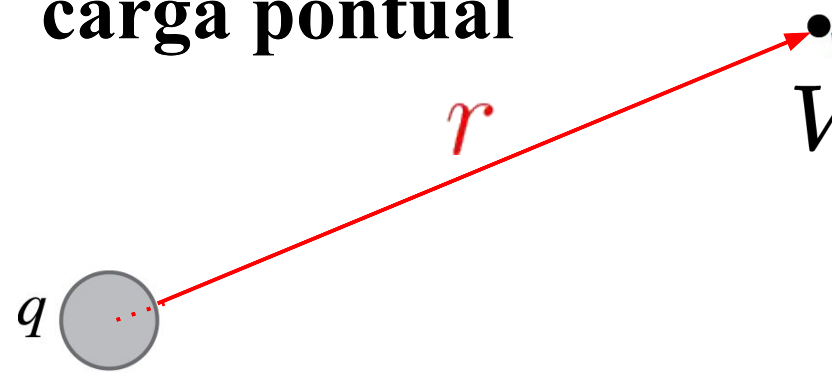
Gráfico de elevação

Eletromagnetismo I

Em retrospectiva

Problemas de eletricidade no contexto de energia

O potencial elétrico de uma carga pontual



$$V = \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0 r}$$

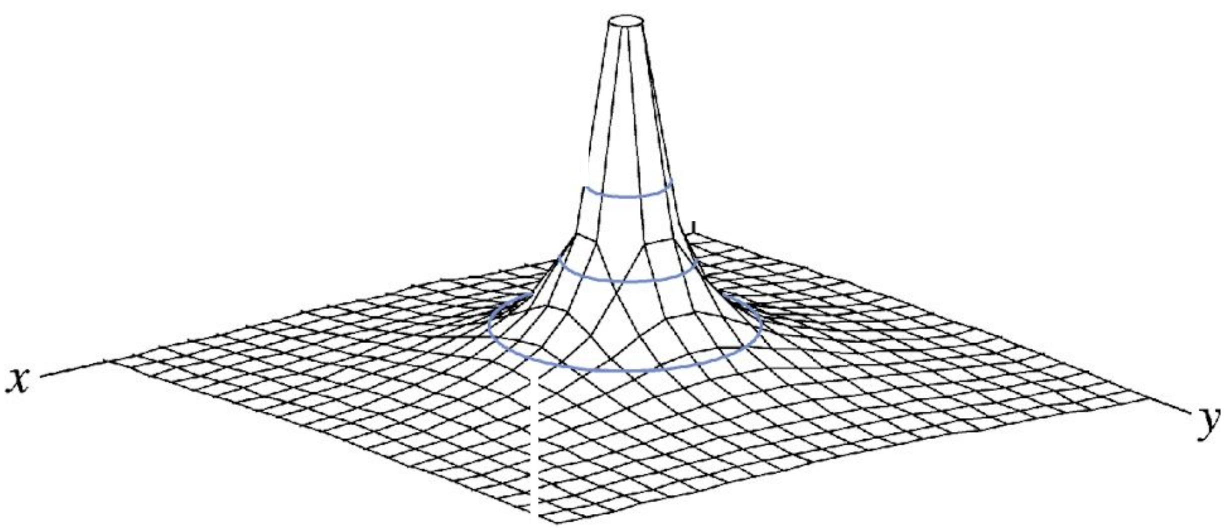


Gráfico de elevação

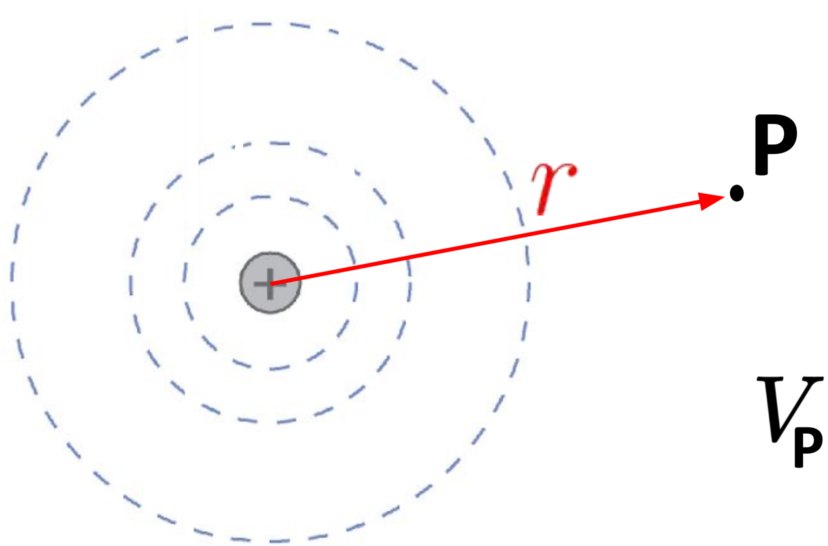
Institute de Física
Universidade Federal Fluminense

Eletromagnetismo I

Em retrospectiva

Problemas de eletricidade no contexto de energia

O potencial elétrico de uma carga pontual



$$V_P = \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0 r}$$

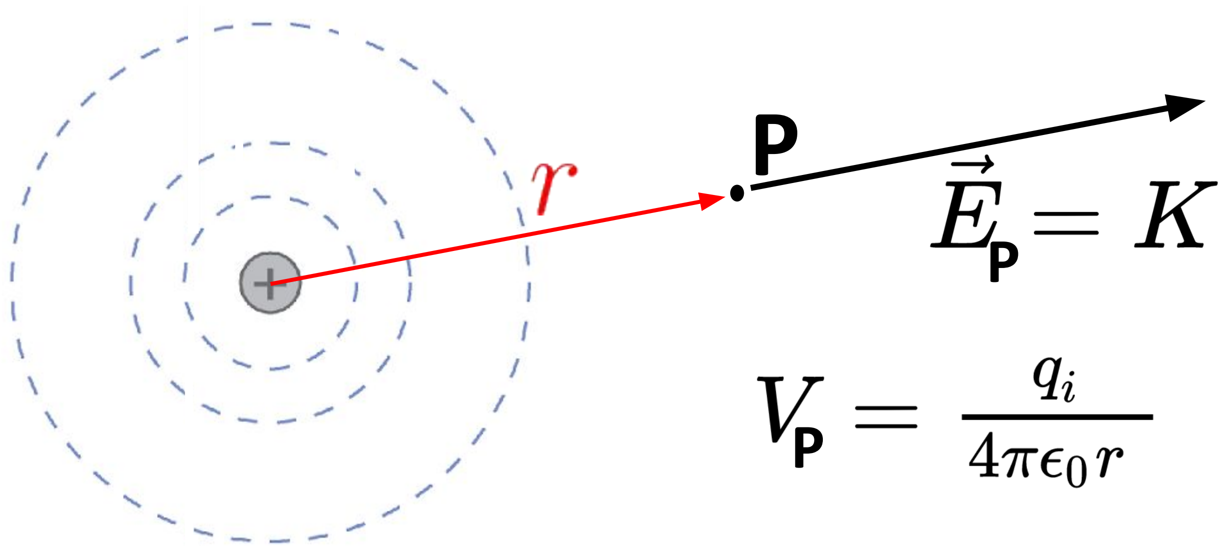
Representação em curvas de nível

Em retrospectiva

Problemas de eletricidade no contexto de energia

O potencial elétrico de uma carga pontual

Campo elétrico da carga pontual



$$\vec{E}_{\mathsf{P}} = K\,\frac{q_+}{r^2}\,\hat{r}$$

$$V_{\mathsf{P}} = \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0\, r}$$

Representação em curvas de nível

Instituto de Física
Universidade Federal Fluminense

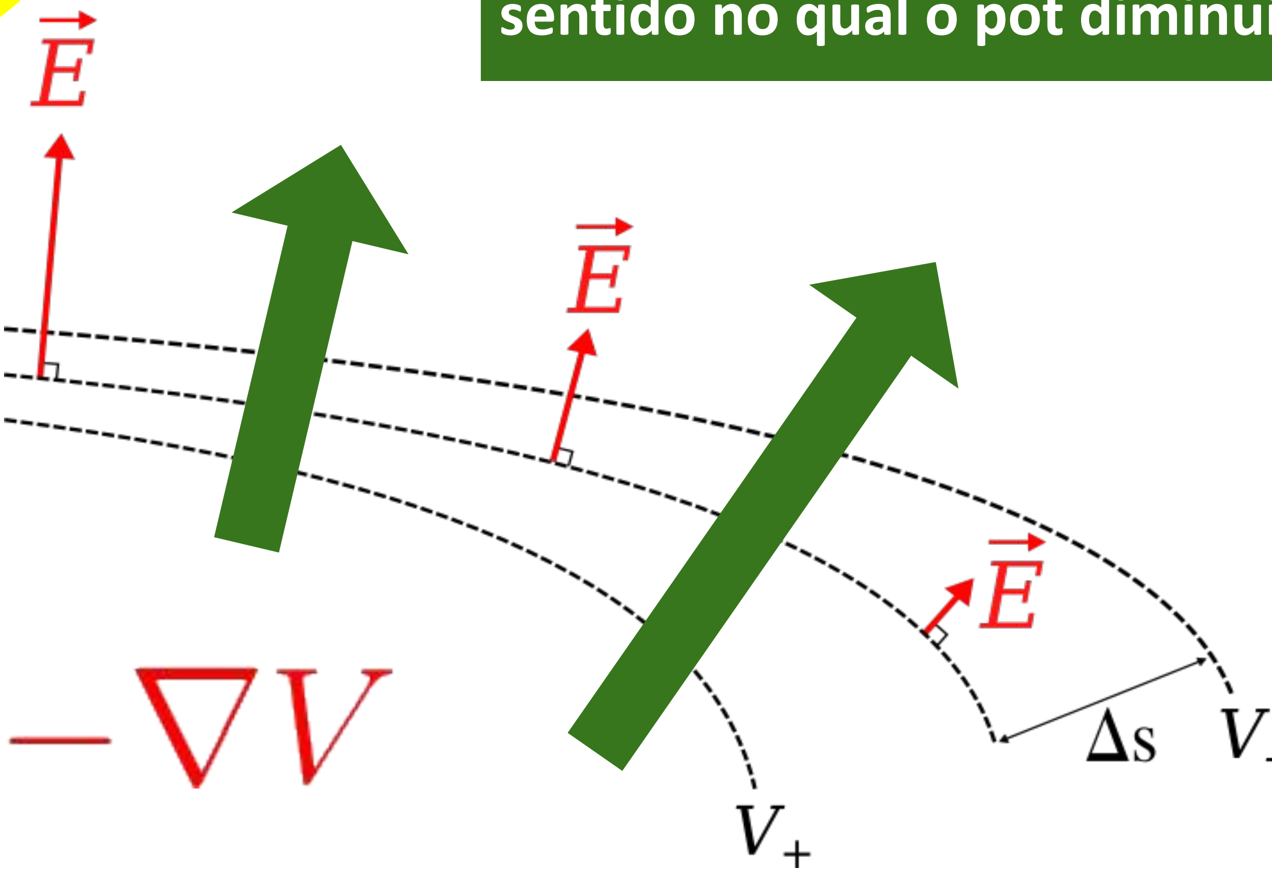
Eletromagnetismo I

Em retrospectiva

Determinando o campo elétrico a partir de V…

Análise vetorial!!

O sentido do campo elétrico é o sentido no qual o pot diminui...



$$\vec{E} = -\nabla V$$

Instituto de Física
Universidade Federal Fluminense

Eletromagnetismo I

Nesta primeira parte do curso vamos fazer a abordagem vetorial, de forma a trabalharmos com as equações do eletromagnetismo e resolver problemas relacionados a esse campo.

1. **Análise Vetorial**
2. Eletrostática
3. Magnetostática
4. Campos variáveis no tempo

1. Análise Vetorial

Definições básicas

- **Escalar**: uma grandeza que só tem magnitude;
- **Vetores**: uma grandeza que tem magnitude e orientação;
- **Campo**: uma função que especifica uma grandeza particular em qualquer ponto de uma região.

1. Análise Vetorial

Definições básicas

- **Escalar**: uma grandeza que só tem magnitude;
- **Vetores**: uma grandeza que tem magnitude e orientação;
- **Campo**: uma função que especifica uma grandeza particular em qualquer ponto de uma região.

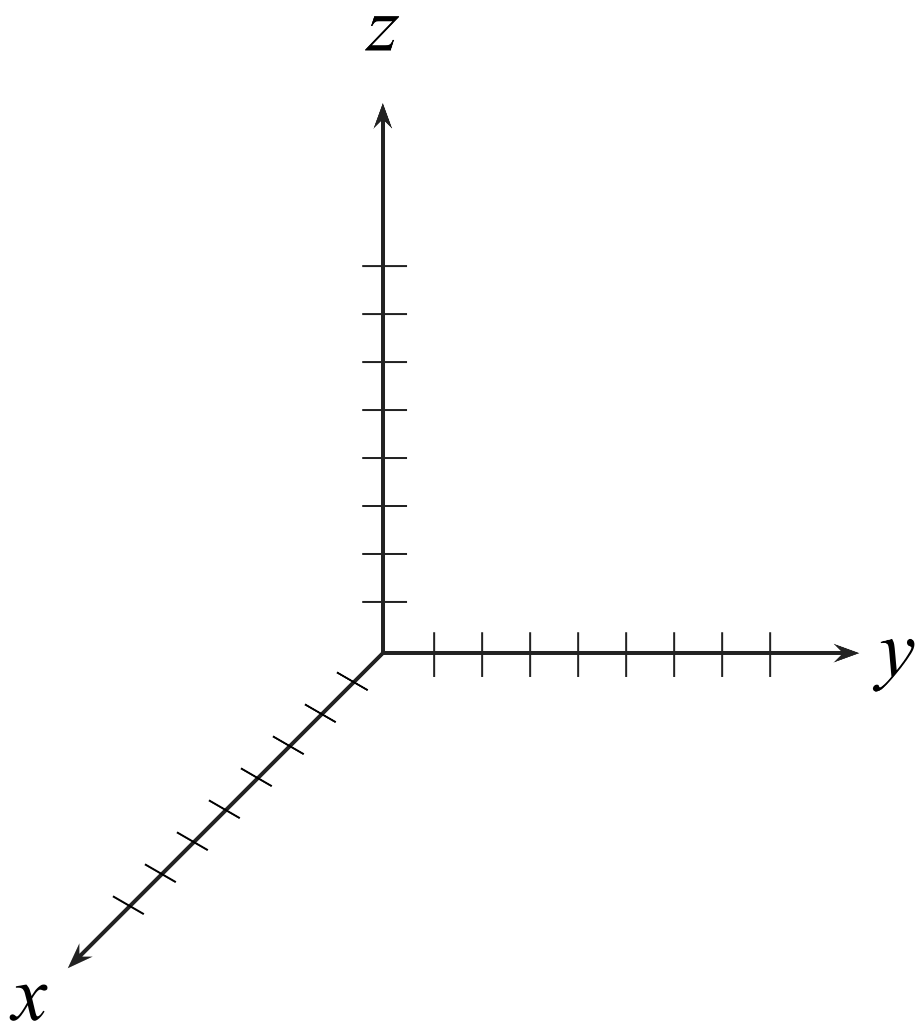
Vetor unitário (versor):

$$\hat{a} = \frac{\vec{a}}{|\vec{a}|} = \frac{\vec{a}}{a}$$

onde $|\hat{a}| = a = 1$, de forma que $\vec{a} = a\hat{a}$.

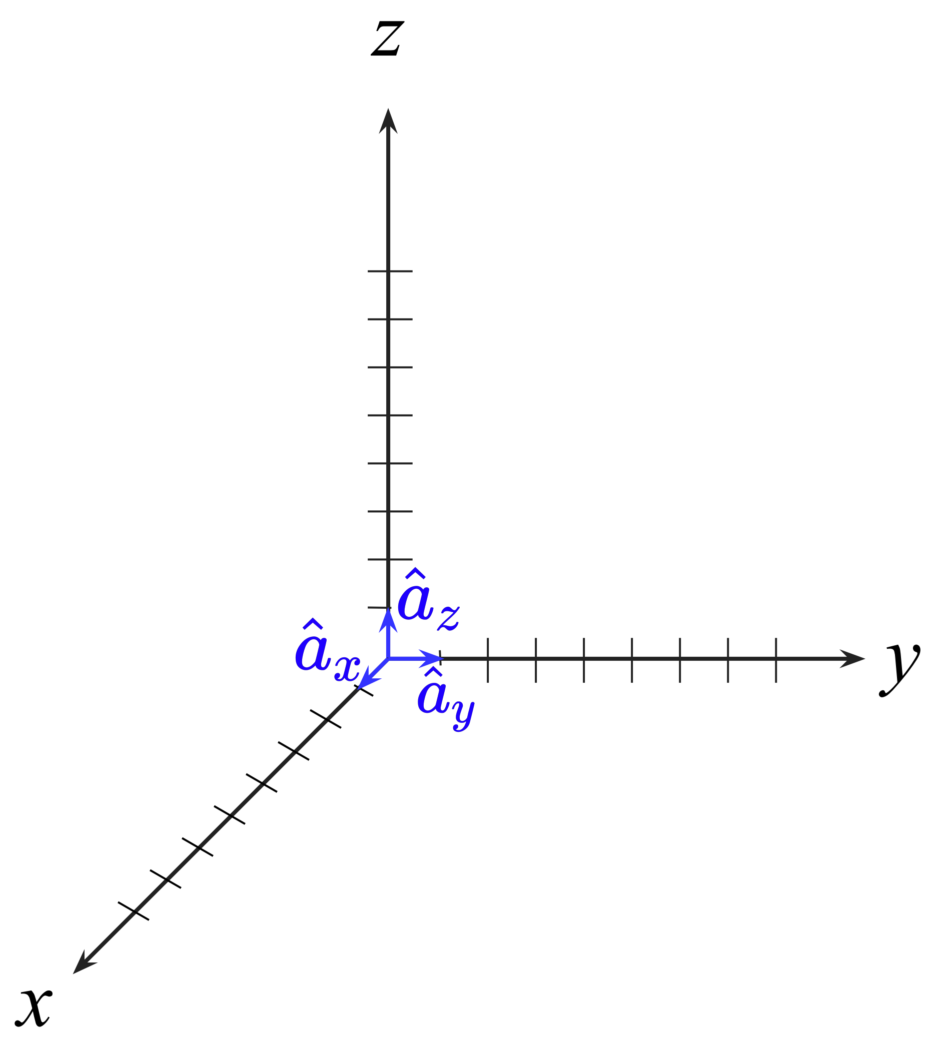
1. Análise Vetorial

Com a especificação de uma origem .



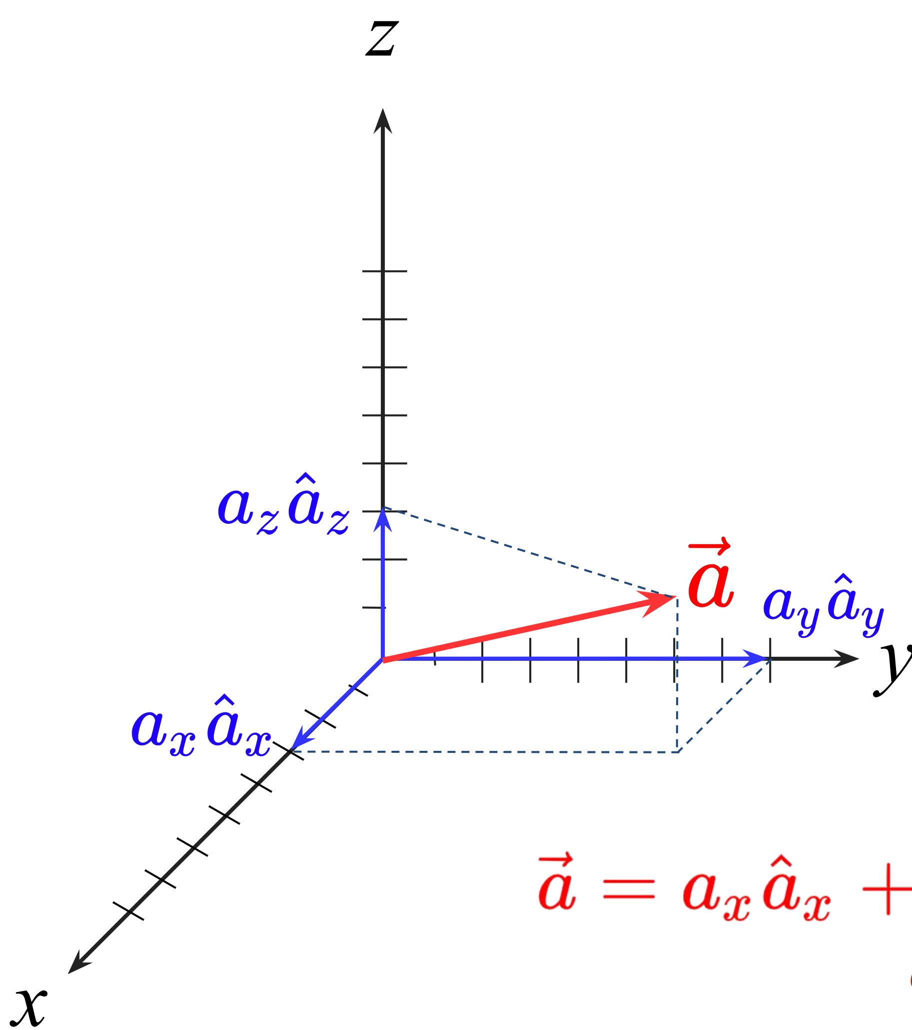
1. Análise Vetorial

Com a especificação de uma origem .



1. Análise Vetorial

Com a especificação de uma origem .



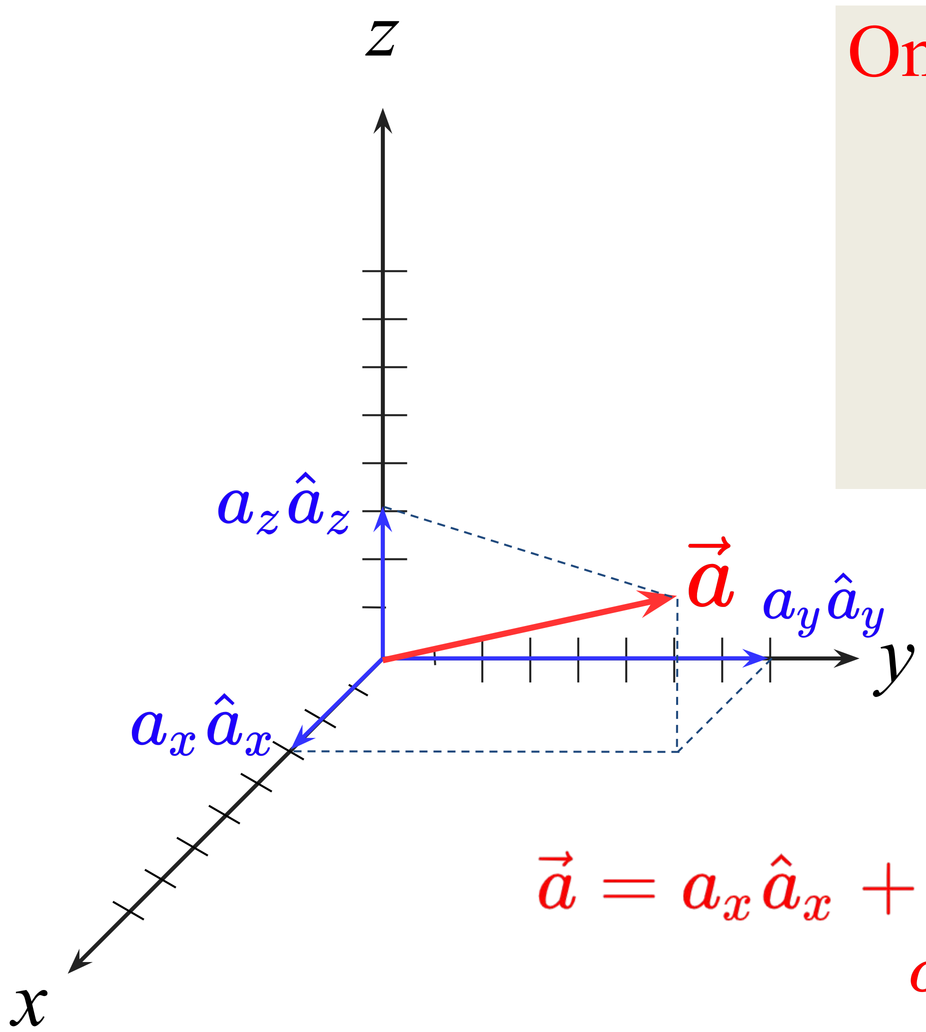
$$\vec{a} = a_x\hat{a}_x + a_y\hat{a}_y + a_z\hat{a}_z$$

ou

$$\vec{a} = (a_x, a_y, a_z)$$

1. Análise Vetorial

Com a especificação de uma origem .



Onde,

$$|\vec{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

$$\hat{a} = \frac{a_x\hat{a}_x + a_y\hat{a}_y + a_z\hat{a}_z}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}}$$

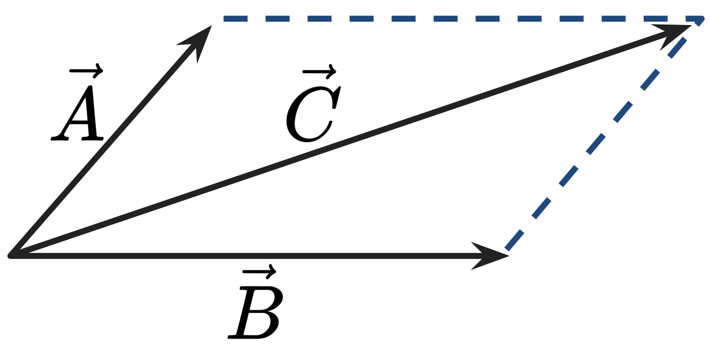
$$\vec{a} = a_x\hat{a}_x + a_y\hat{a}_y + a_z\hat{a}_z$$

ou

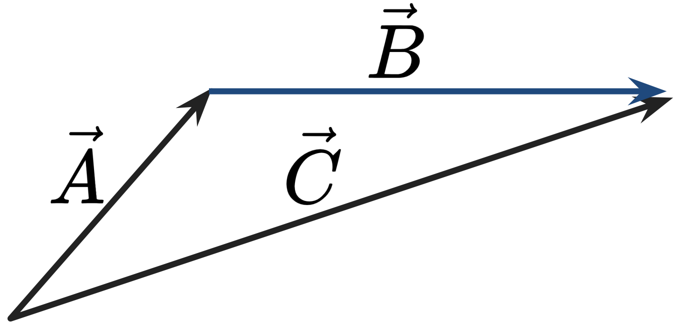
$$\vec{a} = (a_x, a_y, a_z)$$

1. Análise Vetorial

Soma de vetores



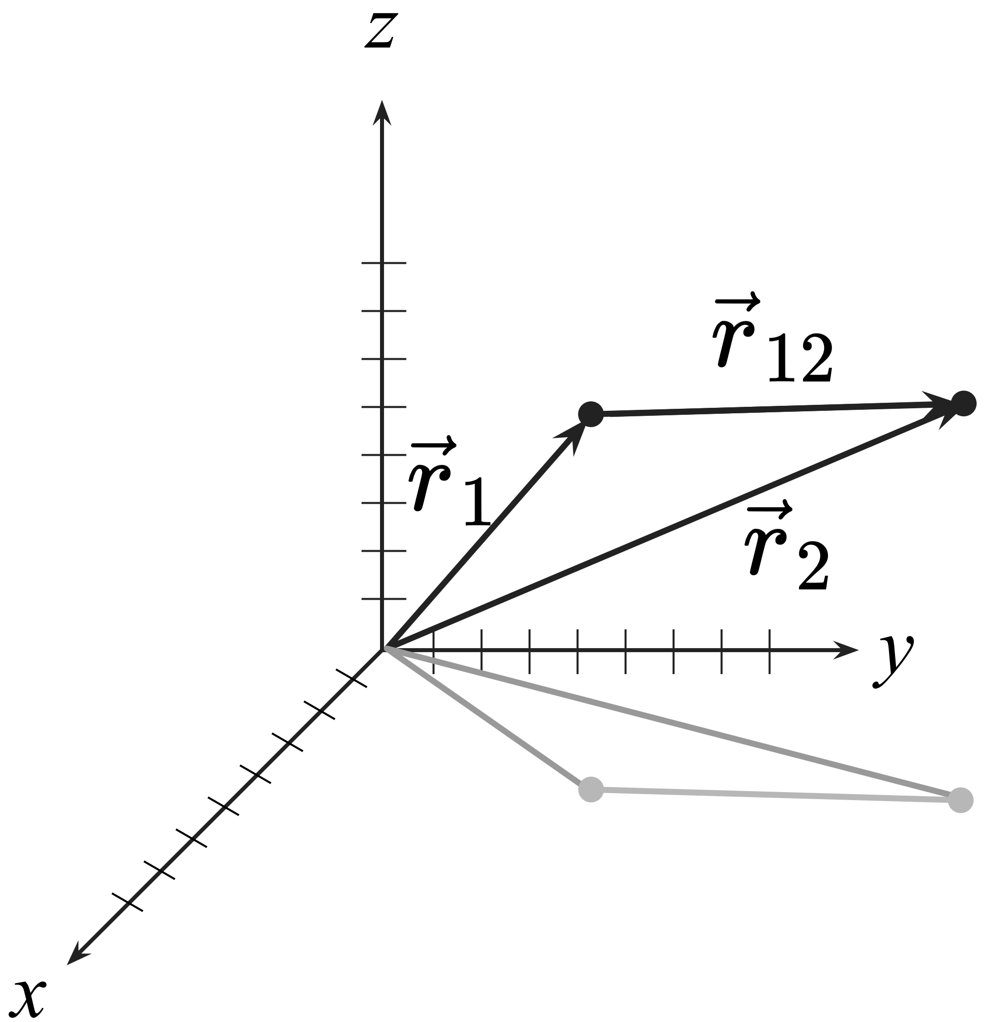
Regra do paralelogramo



Regra início-fim

1. Análise Vetorial

Problema: de acordo com a fig, qual a relação correta do vetor que liga os pontos P_1 e P_2?



$(a)\ \vec{r}_{12} = \vec{r}_1 + \vec{r}_2$

$(b)\ \vec{r}_{12} = \vec{r}_1 - \vec{r}_2$

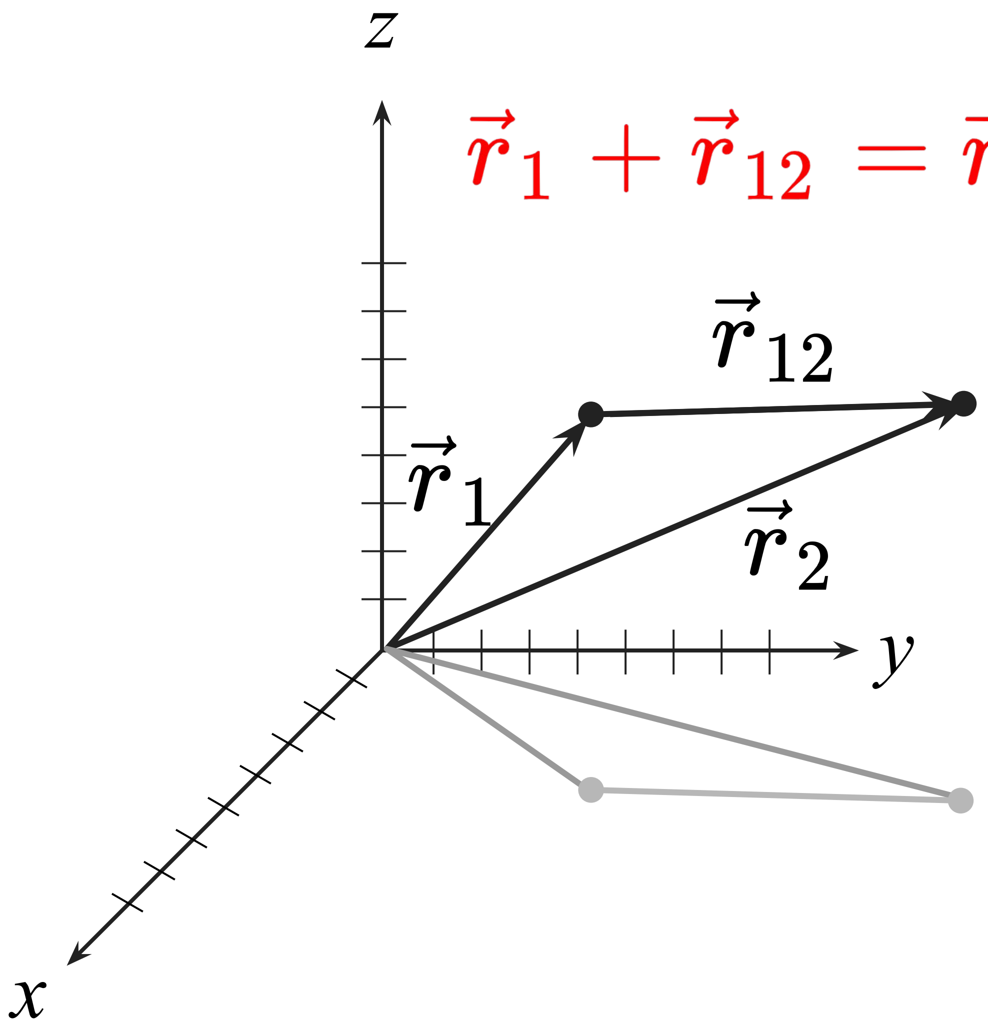
$(c)\ \vec{r}_{12} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$

$(d)\ \vec{r}_{12} = -\vec{r}_2 - \vec{r}_1$

1. Análise Vetorial

Problema: de acordo com a fig, qual a relação correta do vetor que liga os pontos P_1 e P_2?

$$\vec{r}_1 + \vec{r}_{12} = \vec{r}_2$$



$(a)\ \vec{r}_{12} = \vec{r}_1 + \vec{r}_2$

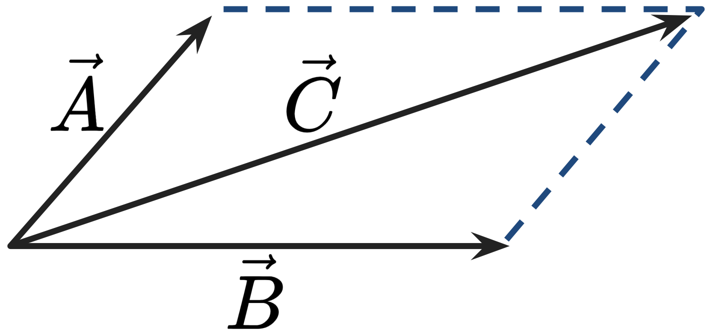
$(b)\ \vec{r}_{12} = \vec{r}_1 - \vec{r}_2$

$\cancel{(c)}\ \vec{r}_{12} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$

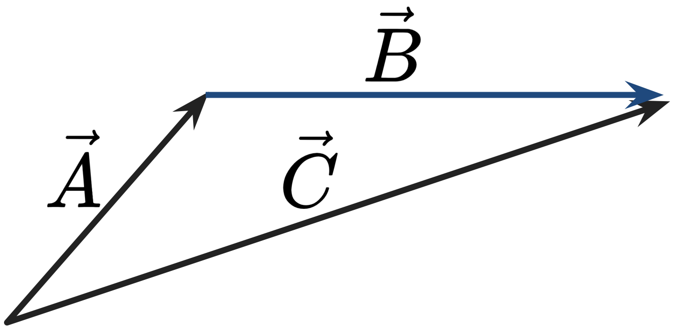
$(d)\ \vec{r}_{12} = -\vec{r}_2 - \vec{r}_1$

1. Análise Vetorial

Soma de vetores



Regra do paralelogramo



Regra início-fim

Propriedades

Comutativa: $\vec{A}+\vec{B}=\vec{B}+\vec{A}$

Associativa: $\vec{A}+(\vec{B}+\vec{C})=(\vec{A}+\vec{B})+\vec{C}$

Distributiva: $k(\vec{A}+\vec{B})=k\vec{A}+k\vec{B}$

$$k\vec{A}=\vec{A}k$$

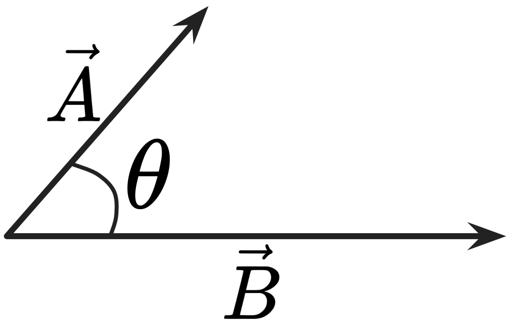
$$k(l\vec{A})=(kl)\vec{A}$$

Instituto de Física
Universidade Federal Fluminense

Eletromagnetismo I

1. Análise Vetorial

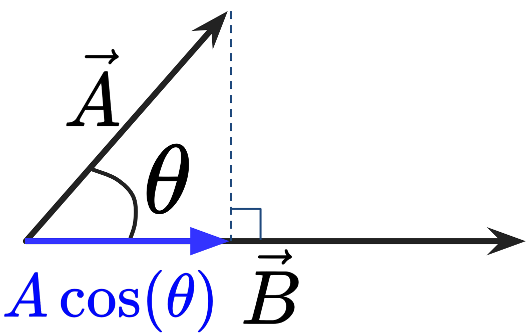
Produto escalar



$$\vec{A}\cdot\vec{B} = AB\cos(\theta)$$

1. Análise Vetorial

Produto escalar



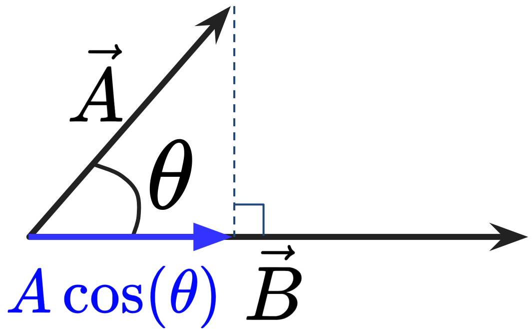
$$\vec{A}\cdot\vec{B} = AB\cos(\theta)$$

$$\vec{A}\cdot\vec{B} = B(A\cos(\theta)) = BA_{||B}$$

Projeção do vetor A na direção do vetor B

1. Análise Vetorial

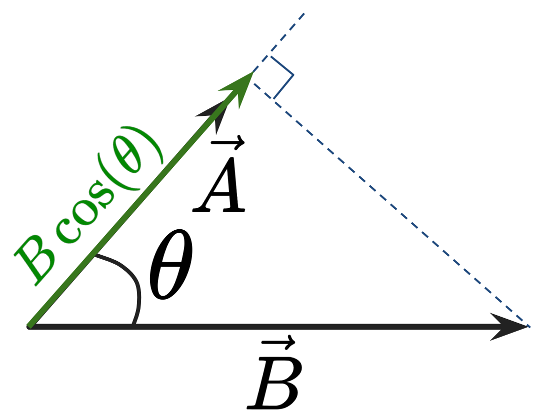
Produto escalar



$$\vec{A}\cdot\vec{B} = AB\cos(\theta)$$

$$\vec{A}\cdot\vec{B} = B(A\cos(\theta)) = BA_{||B}$$

Projeção do vetor A na direção do vetor B



$$\vec{A}\cdot\vec{B} = A(B\cos(\theta)) = AB_{||A}$$

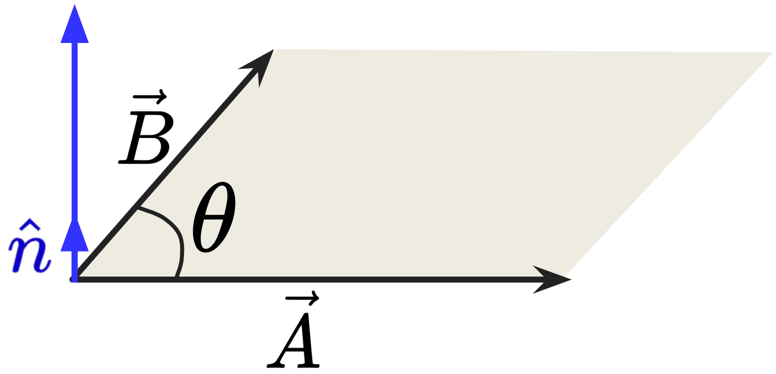
Projeção do vetor B na direção do vetor A

Eletromagnetismo I

1. Análise Vetorial

Produto vetorial

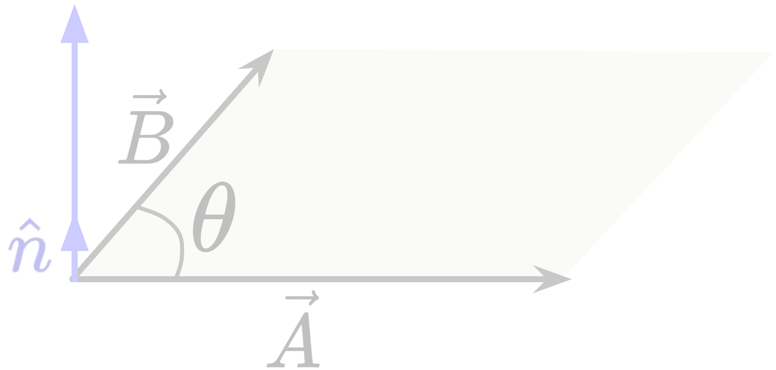
$$\vec{A} \times \vec{B} = |\vec{A}||\vec{B}| \sin(\theta)\hat{n}$$

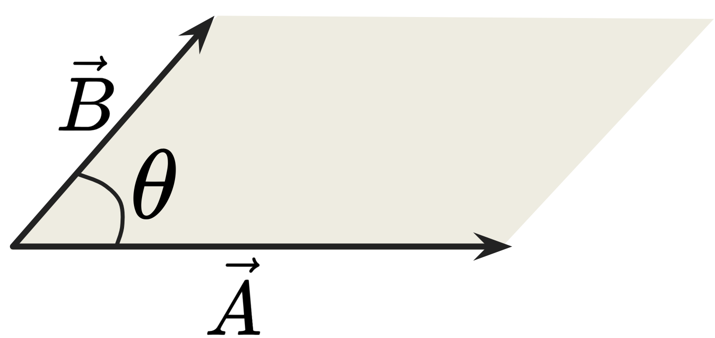


1. Análise Vetorial

Produto vetorial

$$\vec{A} \times \vec{B} = |\vec{A}||\vec{B}| \sin(\theta)\hat{n}$$



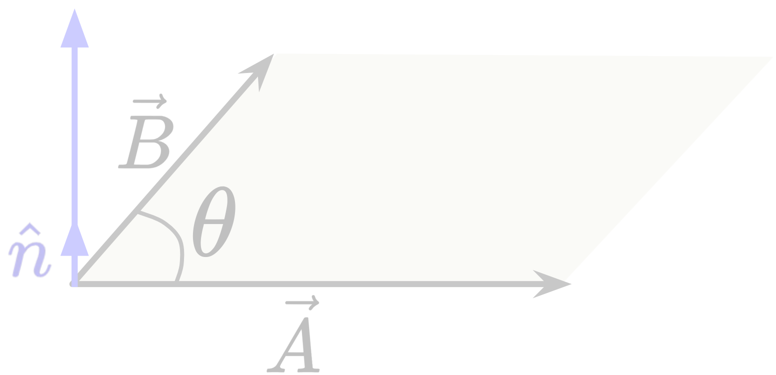


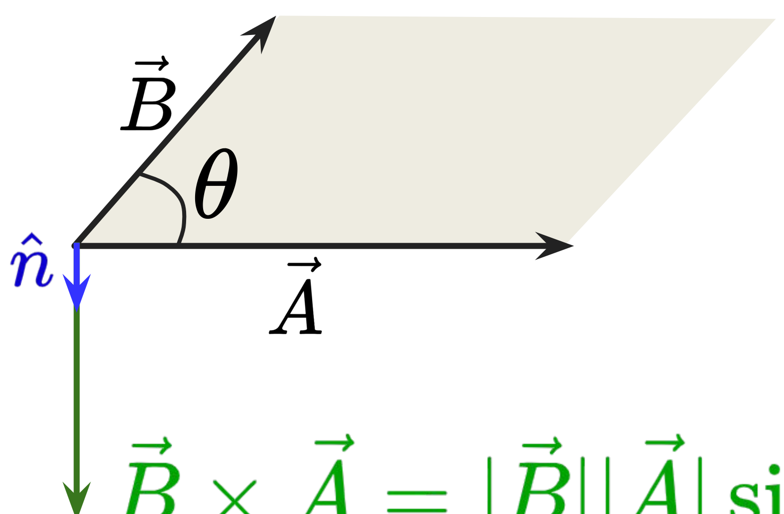
$$\vec{B} \times \vec{A} = ?$$

1. Análise Vetorial

Produto vetorial

$$\vec{A} \times \vec{B} = |\vec{A}||\vec{B}| \sin(\theta)\hat{n}$$



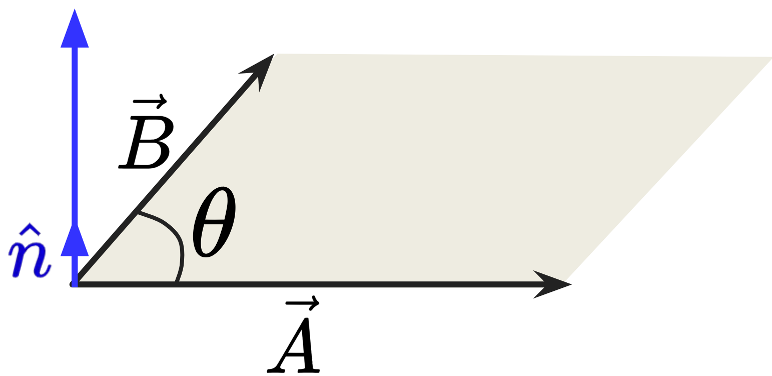


$$\vec{B} \times \vec{A} = |\vec{B}||\vec{A}| \sin(\theta)\hat{n}$$

1. Análise Vetorial

Produto vetorial

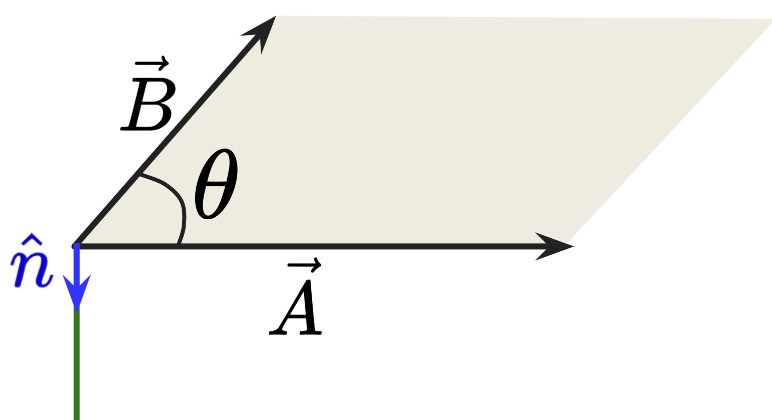
$$\vec{A} \times \vec{B} = |\vec{A}||\vec{B}| \sin(\theta)\hat{n}$$



Portanto,

$$\vec{A} \times \vec{B} = -\vec{B} \times \vec{A}$$

(anti-comutativo)

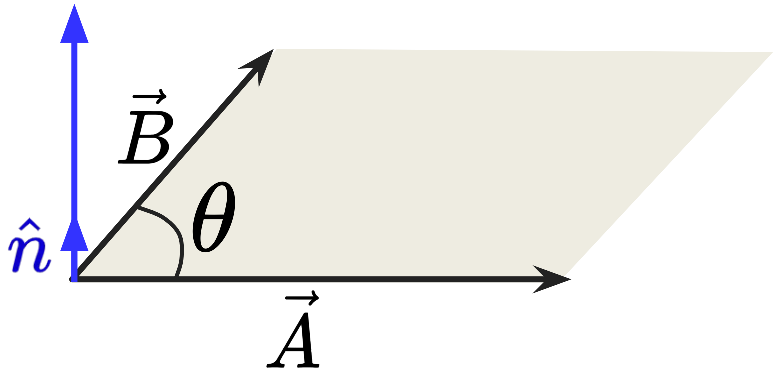


$$\vec{B} \times \vec{A} = |\vec{B}||\vec{A}| \sin(\theta)\hat{n}$$

1. Análise Vetorial

Produto vetorial

$$\vec{A} \times \vec{B} = |\vec{A}||\vec{B}| \sin(\theta)\hat{n}$$



Propriedades

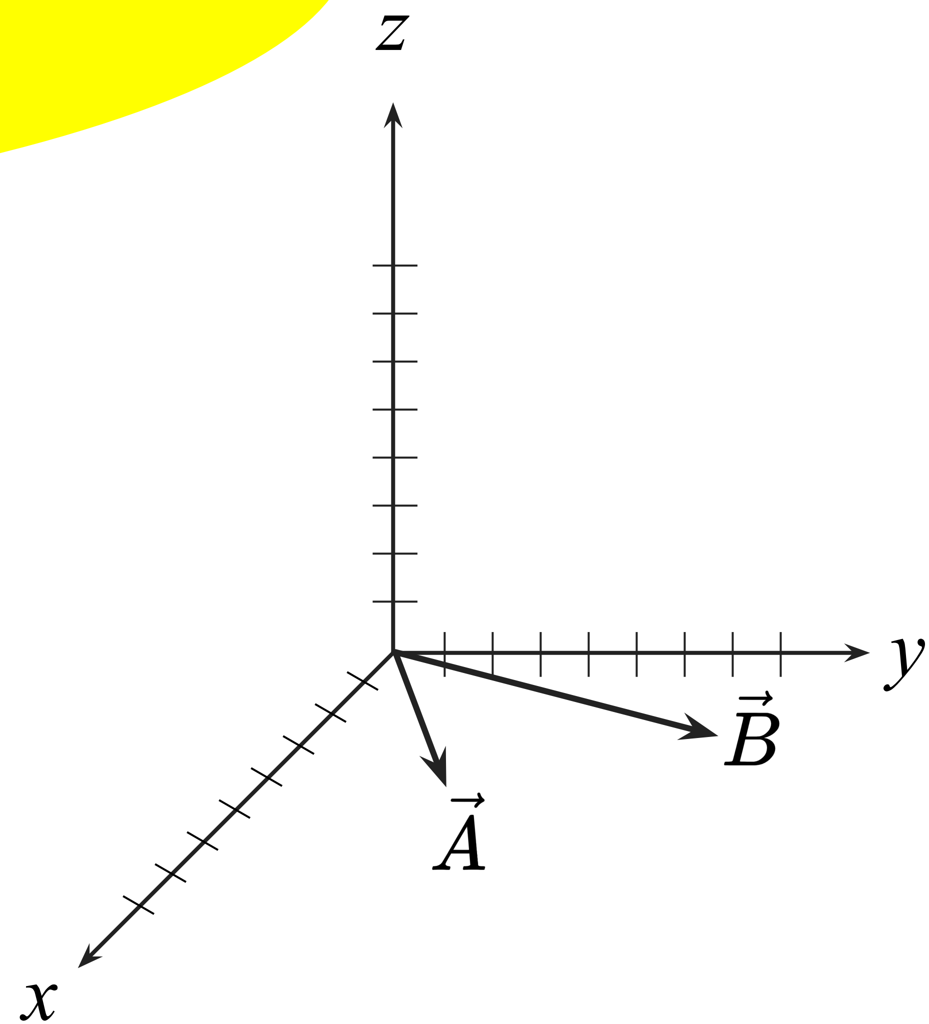
$$\vec{A} \times \vec{B} = -\vec{B} \times \vec{A}$$ (anti-comutativo)

$$\vec{A} \times (\vec{B} + \vec{C}) = \vec{A} \times \vec{B} + \vec{A} \times \vec{C}$$ (distributivo)

$$\vec{A} \times (\vec{B} \times \vec{C}) \neq (\vec{A} \times \vec{B}) \times \vec{C}$$ (Não é associativo)

1. Análise Vetorial

Produto vetorial
(em termos das componentes)



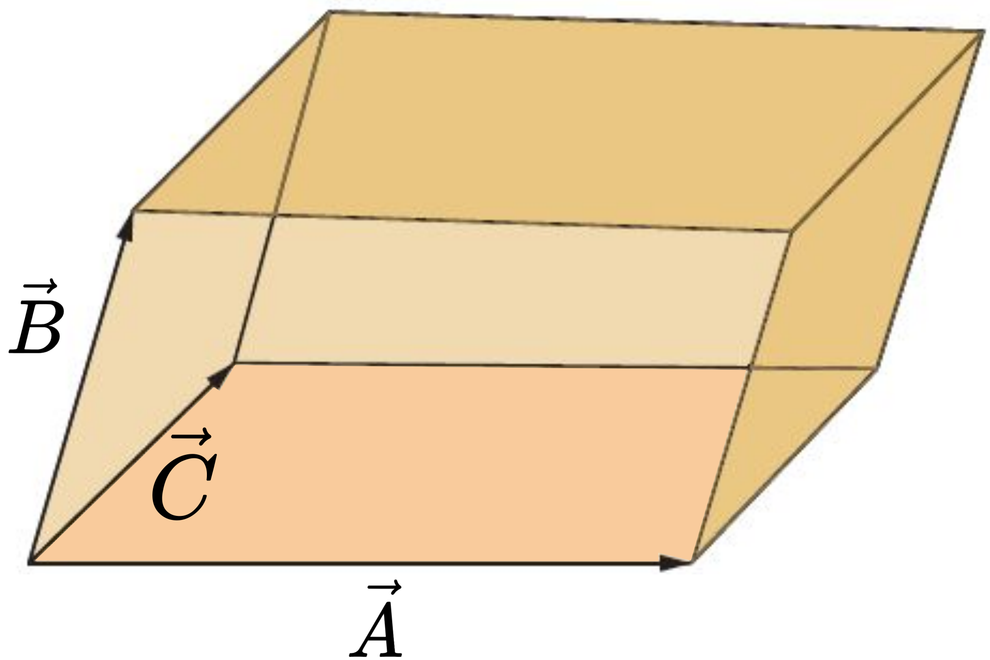
Dados:

$$\vec{A} = (A_x, A_y, A_z)$$
$$\vec{B} = (B_x, B_y, B_z)$$

$$\vec{A} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix} = (A_y B_z - A_z B_y)\hat{x} + (A_z B_x - A_x B_z)\hat{y} + (A_x B_y - A_y B_x)\hat{z}.$$

1. Análise Vetorial

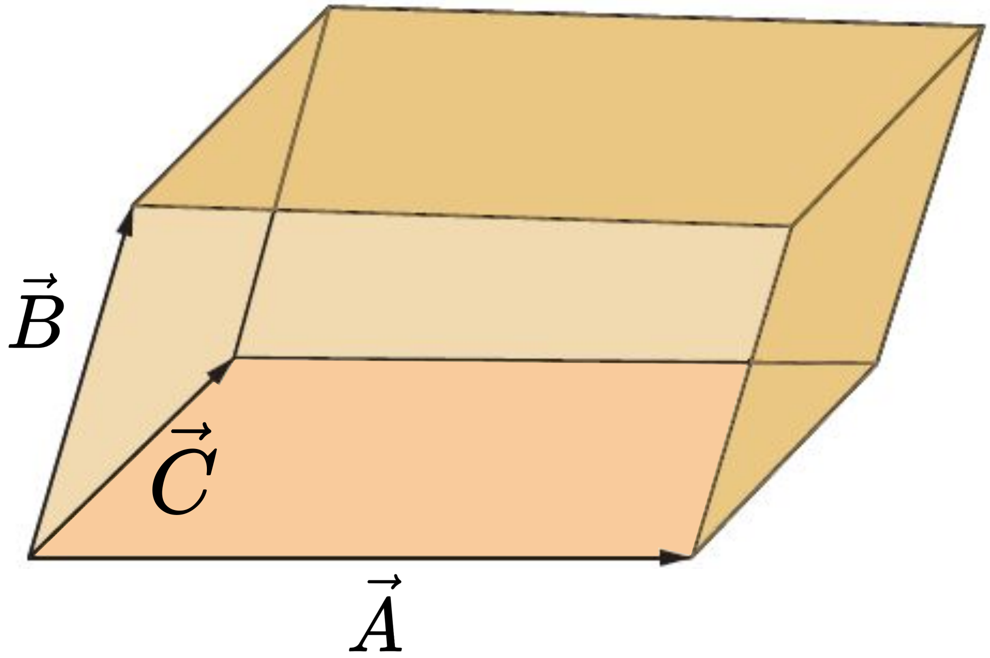
Produto escalar triplo: volume



$$\vec{A}\cdot(\vec{B}\times\vec{C}) = \begin{vmatrix} A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \\ C_x & C_y & C_x z \end{vmatrix} = \text{Volume do paralelepípedo}$$

1. Análise Vetorial

Produto escalar triplo: volume



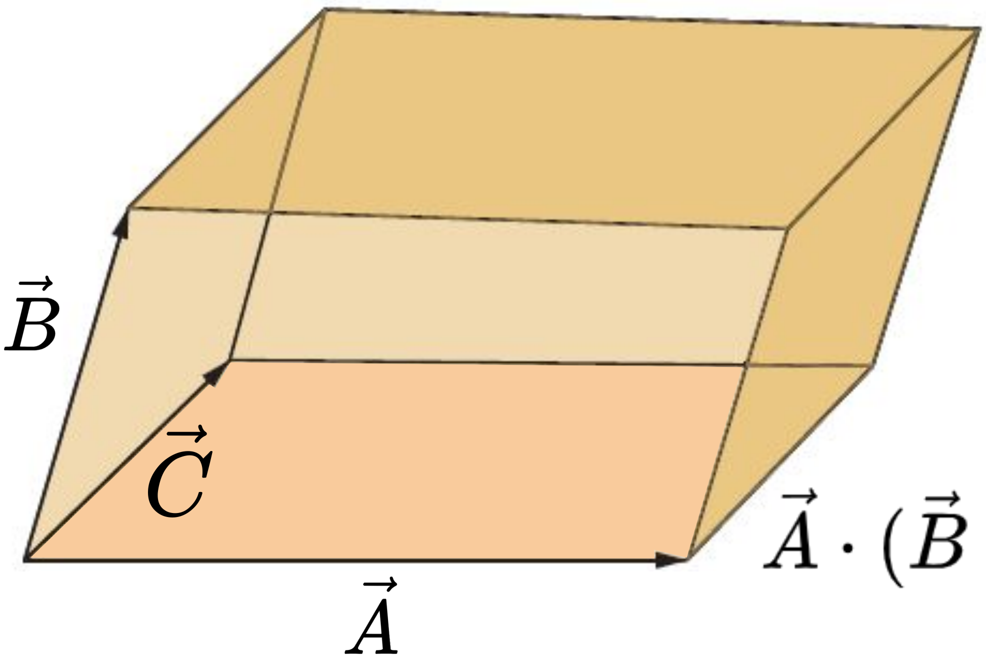
c/ permutação cíclica:

$$\vec{A}\cdot(\vec{B}\times\vec{C}) = \vec{B}\cdot(\vec{C}\times\vec{A}) = \vec{C}\cdot(\vec{A}\times\vec{B})$$

1. Análise Vetorial

Em resumo…

Produto escalar triplo: volume



$$\vec{A}\cdot(\vec{B}\times\vec{C}) = \begin{vmatrix} A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \\ C_x & C_y & C_x \end{vmatrix}$$

$$\vec{A}\cdot(\vec{B}\times\vec{C}) = \vec{B}\cdot(\vec{C}\times\vec{A}) = \vec{C}\cdot(\vec{A}\times\vec{B})$$

Instituto de Física
Universidade Federal Fluminense

Eletromagnetismo I

1. Lista de Exercícios

Lista aula 1

1- Dados os vetores $\vec{A} = 6\hat{x} + 2\hat{y} - 3\hat{z}$ e $\vec{B} = 3\hat{x} - 4\hat{y}$

Determine: (a) ângulo entre os vetores; (b) o componente de $\vec{A}$ ao longo de $\vec{B}$.

2- Os pontos P,Q e R estão localizados em (-1,4,8), (2,-1,3) e (-1,2,3), respectivamente. Construa um diagrama que indique os eixos x,y,z e os pontos P,Q e R.

Determine: (a) a distância entre P e Q; (b) o vetor distância entre P e Q; (c) o ângulo entre QP e QR; (d) a área do triângulo PQR; (e) o perímetro do triângulo PQR.